



Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia
FEUP

SEMINÁRIO ATEHP-APMI sobre MANUTENÇÃO ESTRATÉGIAS DE MANUTENÇÃO E ANÁLISE DE RISCO

Lisboa, 22 de Outubro de 2004

Luís Andrade Ferreira
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
APMI

INTRODUÇÃO

A sobrevivência das instituições ou das empresas passa pela garantia dos seguintes pressupostos:

1. Continuidade da produção
2. Quantidade
3. Continuidade da qualidade
4. Preços competitivos
5. Prazos
6. Flexibilidade
7. Segurança operacional
8. Segurança ambiental

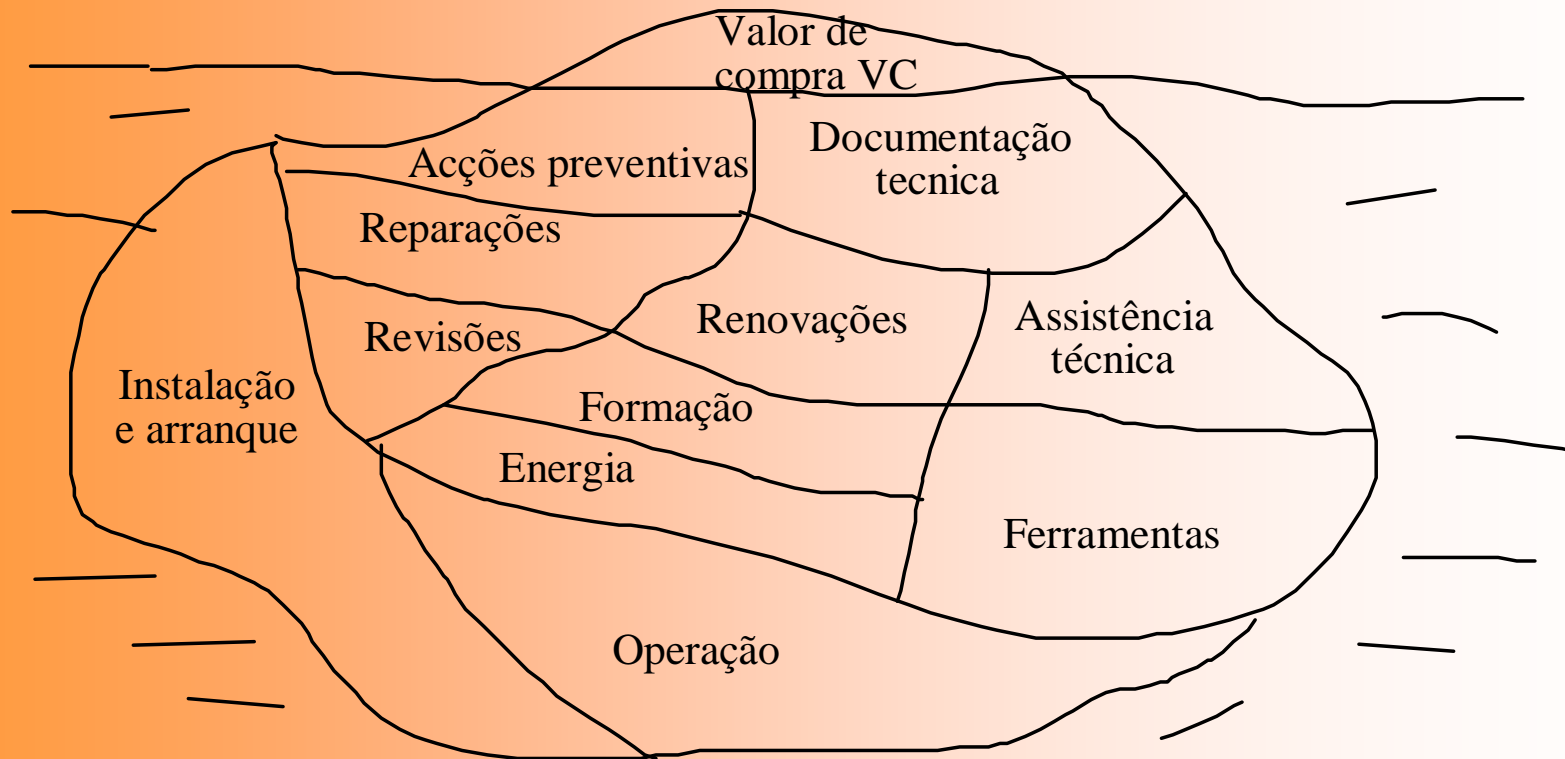
DEFINIÇÃO DE MANUTENÇÃO:

- **Conjunto de acções que permitem manter ou restabelecer um bem num estado especificado ou com possibilidade de assegurar um serviço determinado.**
- **Uma boa manutenção é assegurar estas operações por um custo global mínimo.**

FACTORES DECISIVOS NA EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO:

- A introdução do computador, que permitiu reunir de forma organizada quantidades de informação até aí impossíveis de conseguir.
- O advento das Tecnologias da Informação tem permitido fazer uma melhor ligação entre a Investigação Operacional e a gestão da manutenção, fazendo integrar nos sistemas análises de fiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e segurança.

"Iceberg" de custos — $V_c \ll LCC$ (para a maioria dos equipamentos)



Estratégias de manutenção:

Disponibilidade dos equipamentos é função de:

- Fiabilidade
- Manutenibilidade

logo:

A função manutenção é essencial para manter os níveis de disponibilidade e segurança dos sistemas durante todo o seu ciclo de vida .

Estratégias de Manutenção (cont):

- Que e quanta informação deve ser recolhida e analisada para cada sistema em análise?
- O quê e quem? Isto é, quais as tarefas que devem ser efectuadas no interior da empresa ou que devem ser sub –
-contratadas?
- Qual a influência que a manutenção deve ter na selecção e na instalação de novos sistemas produtivos ou equipamentos?

Estratégias de Manutenção (cont):

- Como otimizar o “output” global de um sistema, diminuindo os seus riscos de funcionamento (segurança, ambiente, operação), com a contribuição da manutenção?

Estratégias de Manutenção (cont):

PERSPECTIVA HISTÓRICA

- Antes da Revolução Industrial, que teve o seu início por volta de 1750 em Inglaterra, a manutenção era efectuada por artífices especializados, tais como carpinteiros, pedreiros, ferreiros, etc., que reparavam edifícios e as máquinas primitivas que existiam na época.

Estratégias de Manutenção (cont):

PERSPECTIVA HISTÓRICA (cont.)

- Durante a Revolução Industrial, o trabalho do operador de manutenção passou de uma fase inicial de artífice para uma actividade de diagnóstico de avarias cada vez mais importante. O desenvolvimento do controlo de qualidade, por um lado, e da automação, por outro, aceleraram este processo.

Estratégias de Manutenção (cont):

PERSPECTIVA HISTÓRICA (cont.)

- A partir da Segunda Guerra Mundial deu-se a introdução dos conceitos de Investigação Operacional no domínio da manutenção. Investigação Operacional que pode ser definida, de forma simples, como sendo a aplicação do método científico aos problemas operacionais.
- A maior parte dos modelos desenvolvidos sofriam de três problemas base: aplicabilidade (complexidade das leis, não acessíveis à maioria dos engenheiros), acessibilidade (normalmente publicados em revistas de matemática não lidas por engenheiros) e motivação (leis desenvolvidas fora do contexto operacional, mas belíssimos exemplos de desenvolvimentos matemáticos)

Estratégias de Manutenção (cont):

PERSPECTIVA HISTÓRICA (cont.)

- Outro factor decisivo para a evolução da manutenção foi a introdução do computador, que permitiu reunir de forma organizada quantidades de informação até aí impossíveis de conseguir.
- O advento das Tecnologias da Informação tem permitido fazer uma melhor ligação entre a Investigação Operacional e a gestão da manutenção, fazendo integrar nos sistemas análises de fiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e segurança.

Estratégias de manutenção (cont.):

- ✓ Terotecnologia
- ✓ TPM - Total Productive Maintenance
- ✓ RCM – Reliability - centred Maintenance
- ✓ Risk - based Life Management e RBI – Risk - based Inspection
- ✓ Modelo “EUT - Eindhoven University of Technology”
- ✓ TQMain - Total Quality Maintenance

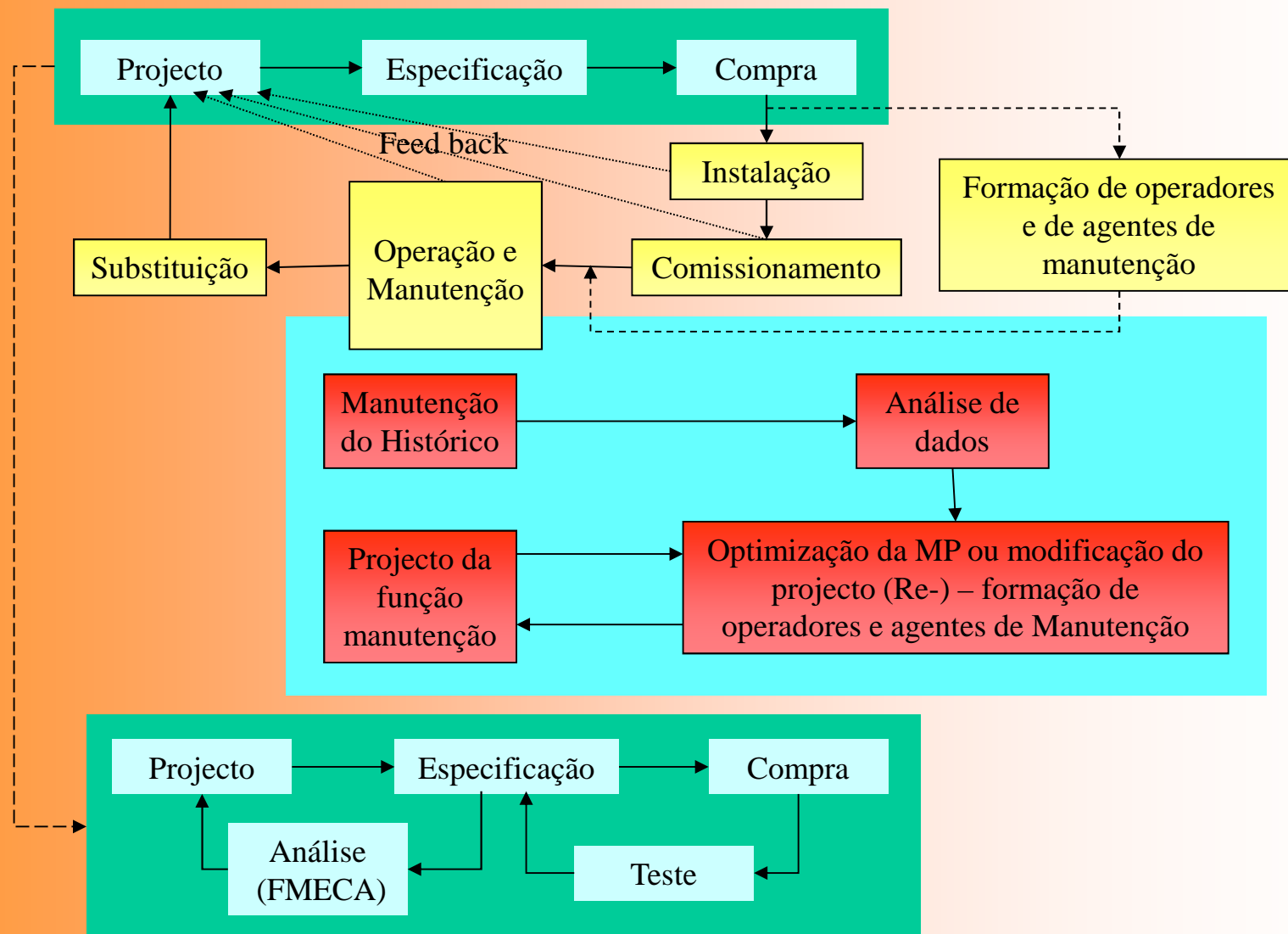
Todas estas estratégias fazem apelo às Tecnologias de Informação para uma gestão proactiva da informação e recorrem ao “benchmarking” para estabelecer metas quando tal se torna necessário.

Estratégias de Manutenção (cont.):

- Como já foi dito, a função manutenção deve intervir quando da compra de novos equipamentos e, se possível, intervir mesmo na fase de projecto desses equipamentos
- Estas estratégias só serão efectivas se a gestão de topo das empresas estiver envolvida nos objectivos a alcançar e promover a realização das tarefas de manutenção de uma forma efectiva e persistente

Estratégias de manutenção (cont.)

TEROTECNOLOGIA



Estratégias de manutenção (cont.)

TPM – Total Productive Maintenance

- Tem como objectivo maximizar o rendimento dos equipamentos, num processo de melhoria contínua
- **Estabelecer um sistema racional de Manutenção Preventiva ao longo da vida do equipamento**
- **É implementado por todos os sectores da empresa (engenharia, produção e manutenção)**
- Envolve todo o pessoal da empresa
- É baseado na promoção da **Manutenção Preventiva** pela motivação e gestão de pequenos grupos autónomos

Estratégias de manutenção (cont.)

TPM – Total Productive Maintenance

- É avaliado pelo OEE - “Overall Equipment Effectiveness”, sendo este o produto da disponibilidade, qualidade alcançada e velocidade de produção
- Desenvolve - se fundamentalmente em quatro fases:
 - ✓ Auto - envolvimento na manutenção de todos os agentes
 - ✓ Melhoria das actividades, com compreensão do “porquê, onde e quando é que isto acontece?”
 - ✓ Resolução dos problemas
 - ✓ Gestão autónoma.

Não faz uma ligação directa ao conceito de fiabilidade

Estratégias de manutenção (cont.)

Objectivos do TPM:

- Zero Acidentes**
- Zero Defeitos causados pelo equipamento**
- Zero Paragens não programadas**
- Zero Perdas de Velocidade no equipamento**

Estratégias de manutenção (cont.)

TPM – Total Productive Maintenance

INDICADOR DE REFERÊNCIA:

OEE – Overall Equipment Efficiency

$$\text{OEE} = \text{DOP} * \text{ID} * \text{TQU} * 100$$

DOP – Disponibilidade Operacional

$$DOP = \frac{\text{Tempo de operação} - \text{Tempo de paragens não programadas}}{\text{Tempo de operação}}$$

ID – Indicador de Desempenho

$$ID = \frac{\text{Quantidade produzida} * \text{Tempo de Ciclo Real}}{\text{Tempo de operação} - \text{Tempo de paragens não programadas}}$$

TQU – Taxa de Qualidade

$$TQU = \frac{\text{Nº de unidades produzidas} - \text{Nº de unidades produzidas recusadas}}{\text{Nº de unidades produzidas}}$$

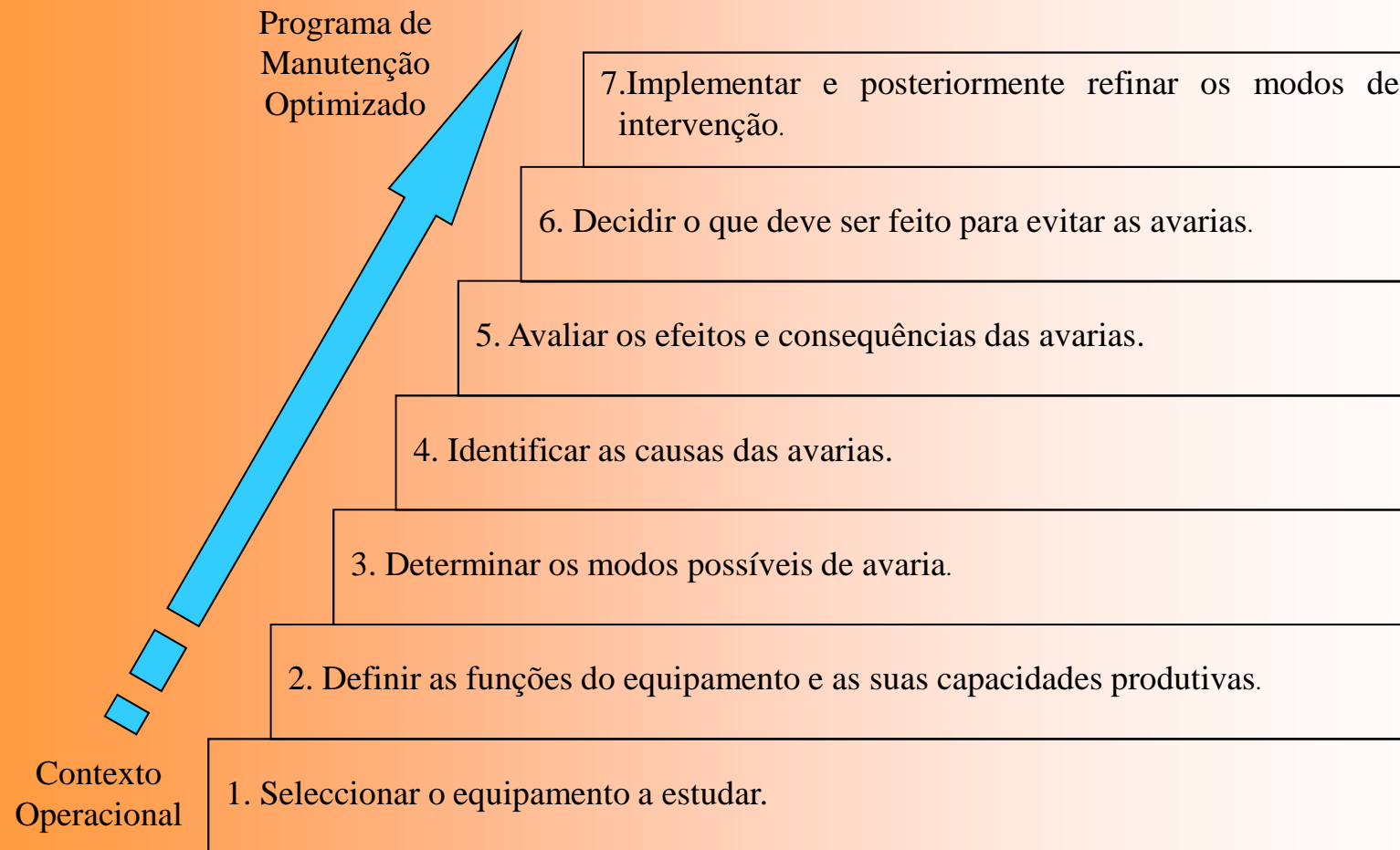
Estratégias de manutenção (cont.)

RCM – Reliability - centered Maintenance

- Com o RCM pretende-se conhecer a real capacidade produtiva de um sistema, através do conhecimento técnico dos equipamentos utilizados no processo e a sua capacidade para atingir os objectivos de produção. Assim, **com o RCM procura-se obter um equilíbrio entre fiabilidade ou necessidades de produção e os recursos necessários.**
- As vantagens do RCM são evidentes, já que se tenta dirigir a atenção da manutenção para **as avarias potenciais de maior risco**, seja ele relativo à segurança, económico-financeiro ou ambiental.

Estratégias de manutenção (cont.)

RCM – Reliability - centered Maintenance



Estratégias de manutenção (cont.)

RCM – Reliability - centered Maintenance

- Introdução do conceito de **criticidade** em função das consequências das avarias (**Utilização do FMECA – Failure Modes, Effects and Criticality Analysis**)
- A **criticidade** é função da detectabilidade (D), frequência (F) e da severidade das avarias (S)

*Noção de **RPN** (Rank ou Risk Priority Number):*

$$RPN = D \times F \times S$$

Estratégias de manutenção (cont.):

SMP - Sustained Maintenance Planning

- RCM no centro desta nova filosofia de manutenção
- Tenta ultrapassar o problema dos programas de manutenção estáticos
- Integração de tecnologias de informação e de monitorização dos equipamentos

Projecto inicial
Processo de Modificação

Projecto
Análise funcional
Testes
Análise de Desempenho

FMECA

Análise
RCM

Lógica de Análise e
Decisão do RCM

Análise de dados
Operacionais

Análise de dados
de Fiabilidade e
Manutibilidade

Operação de
Reprojecto

Manutenção Preventiva
Obrigatória

Requisitos de
Manutenção
Preventiva

Sem
Manutenção
Preventiva

SMP
Coordenação
Industrial
Planeamento da
Manutenção
Análise dos
dados de
Desempenho

Análise dos
serviços de
Engenharia e
Logística

Reavaliação da Manutenção
Preventiva ao longo do ciclo
de vida

Plano de Manutenção

Desempenho do Equipamento

Suporte Logístico
Documentos de M. P.
Requisitos de M. C.
Formação e Gestão de
“Stocks”

Manutenção
Correctiva

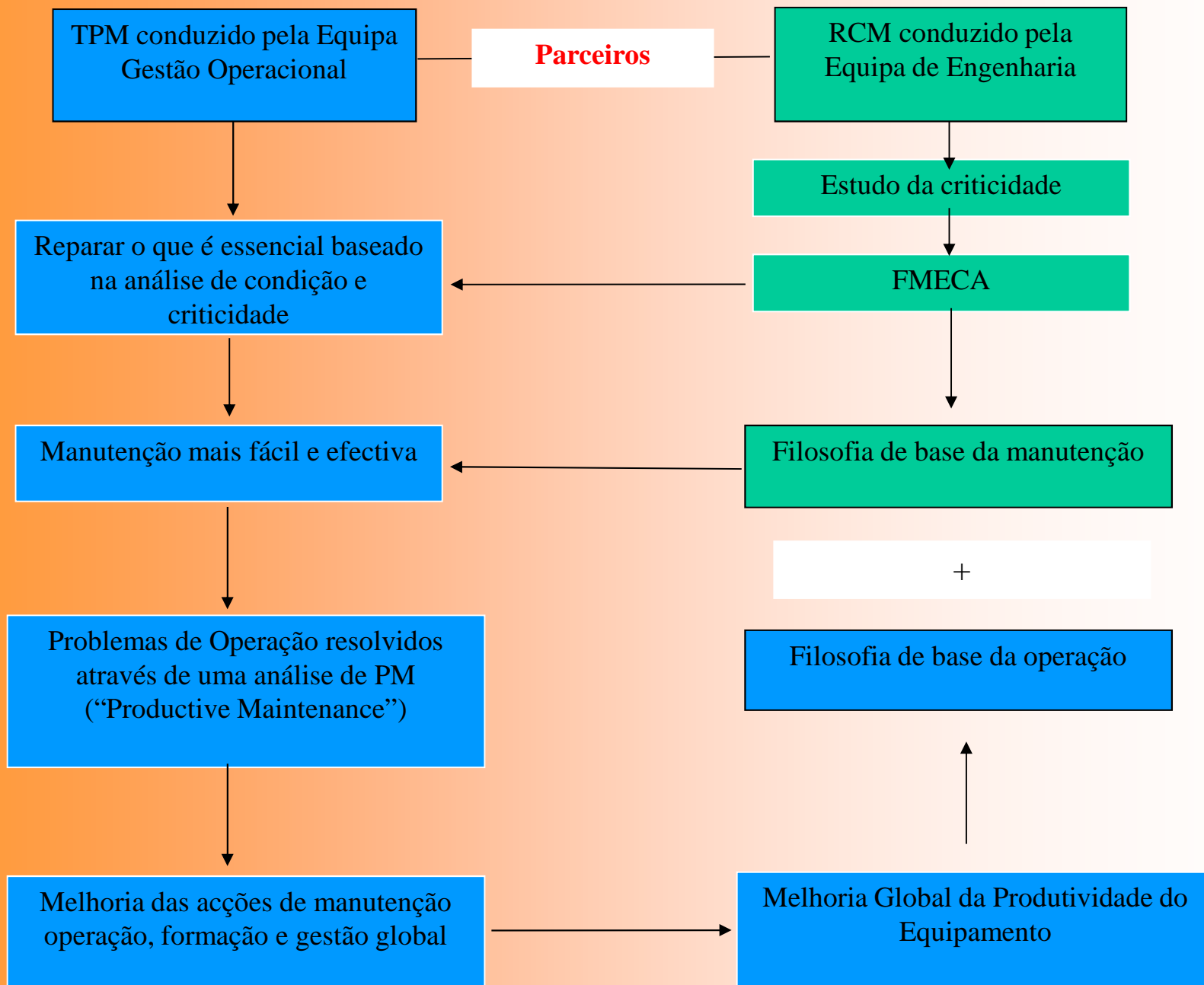
Manutenção
Preventiva

Inspecções ao
Equipamento
(envelhecimento, ...)

Reparações
Avarias
Ordens de trabalho
Relatórios

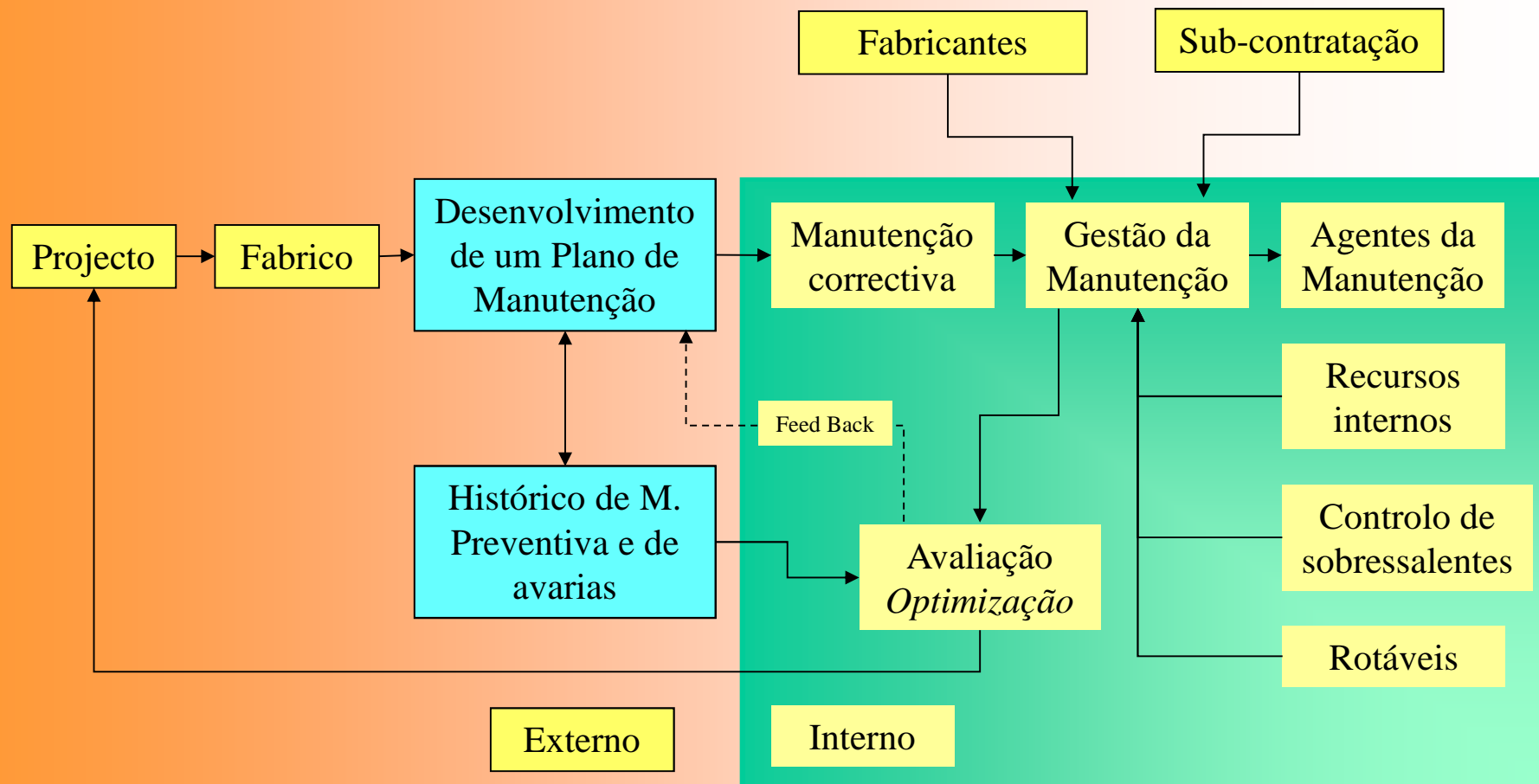
Aquisição

Operacional



Estratégias de Manutenção (cont.):

MODELO “EINDHOVEN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY –EUT”



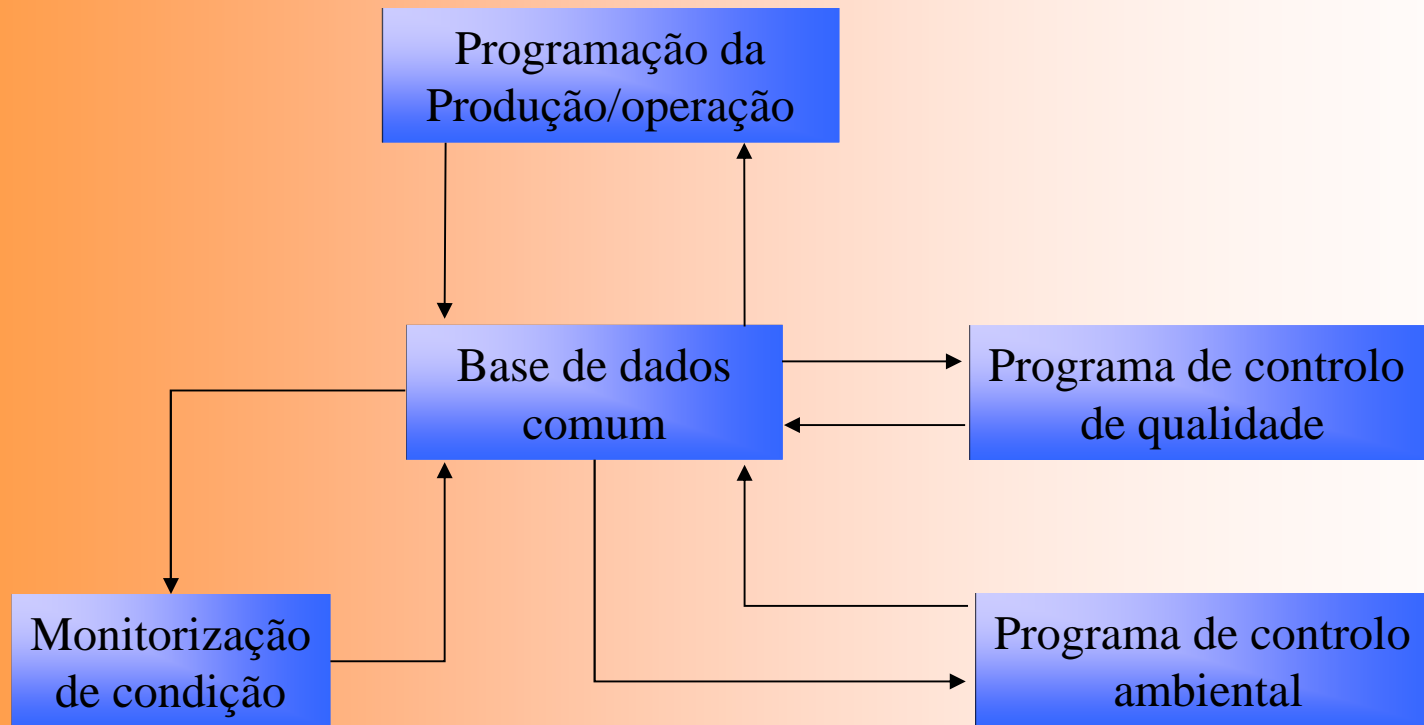
Estratégias de Manutenção (cont.):

TQMain – Total Quality Maintenance

- Esta metodologia é baseada no ciclo de Deming para a qualidade, o ciclo P – D – C - A (“Plan – Do – Check – Act - Plan...”), que é a base do TQM – *Total Quality Management*.
- A manutenção deve trabalhar de forma integrada com a produção, para maximizar os objectivos dos sistemas.

Estratégias de Manutenção (cont.):

TQMain – Total Quality Maintenance



TQMain – Total Quality Maintenance

$$\text{OPE} = \{ 1 - N_s / \mu T \} \cdot \{ 1 - (n_m / \mu_m + t_r) / t_o \} \cdot \{ 1 - (n_f + n_c + n_s) / n \}$$

Em que:

N_s – nº de paragens

μ – taxa de reparações

T – tempo de carregamento do sistema

n_m – nº de pequenas paragens

μ_m – taxa das pequenas reparações

t_r – tempo perdido devido à redução de velocidade da operação

t_o – tempo de operação

n_f – nº de defeitos que aparecem imediatamente a seguir às paragens

n_c – nº de defeitos que aparecem durante o funcionamento normal

n_s – nº de defeitos que são atribuídos a falhas de controlo de qualidade

n – nº de “peças” obtidas

Risk-based Life Management

Probabilidade

(probabilidade de acontecer uma falha)

- ✓ estado do componente
- ✓ factores externos que afectam o funcionamento

Consequências

(importância dos componentes no sistema)

- ✓ custo
- ✓ segurança
- ✓ ambiente

Risco = probabilidade X consequências

Prioridade

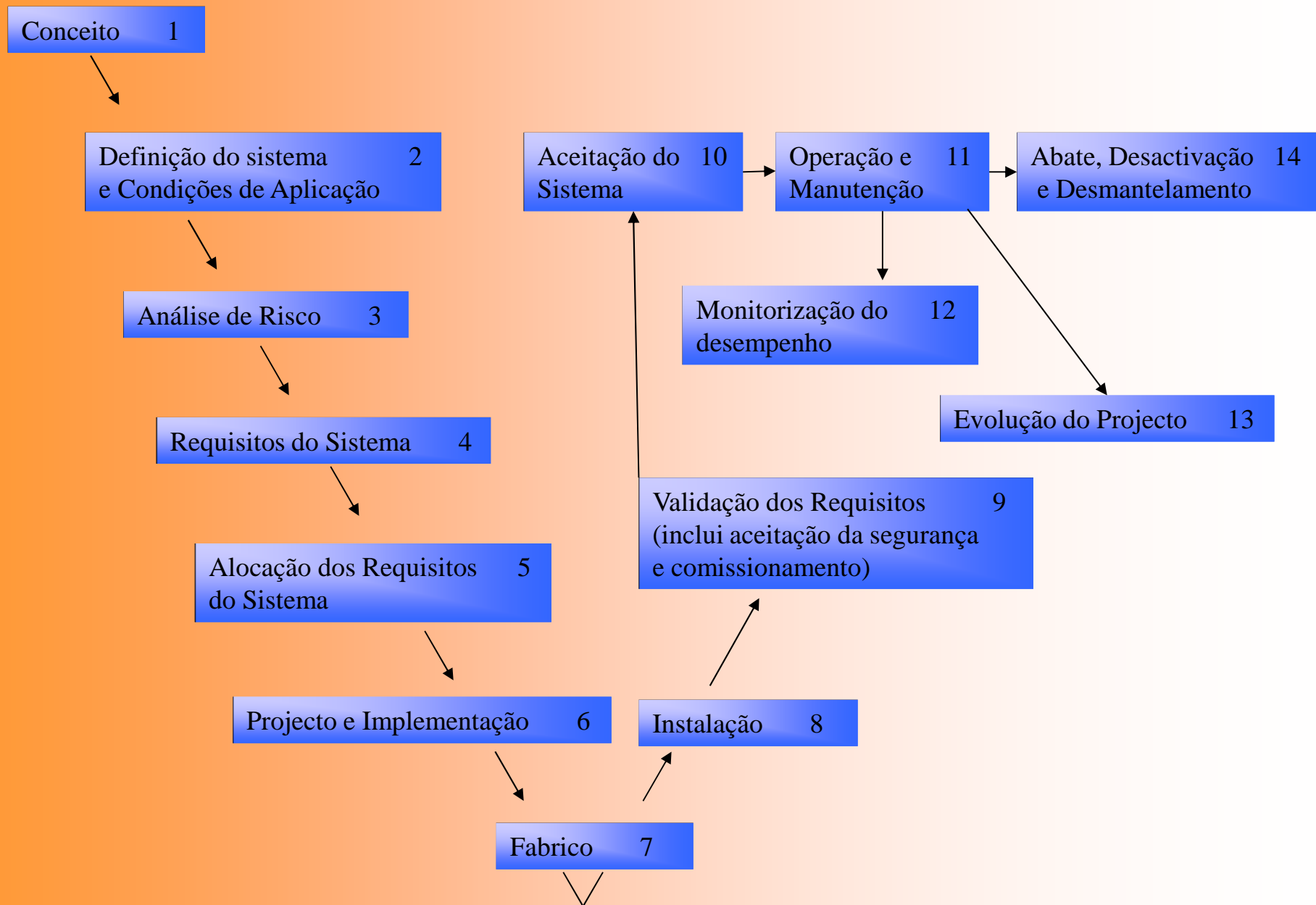
Estratégia de Manutenção

Risk-based Life Management (cont.)

Problema	Solução
• O QUÊ - prioridades	Análise de Risco baseada na inspecção, manutenção e operação
• ONDE – localizações críticas	
• QUANTO – otimização de meios	
• PORQUÊ – decisão baseada no estado do componente	
• QUANDO – intervalo entre inspecções otimizado	<i>RBLM</i>
• QUEM – identificação clara das responsabilidades atribuídas	Sistemas de análise de grupo

Conceito de ciclo de vida global:

- Conceito de “RAMS - *Reliability, Availability, Maintainability and Safety*”
- Análise técnico - económica de todo o sistema desde a sua concepção até ao seu abate, com especial incidência nos aspectos logísticos
- Norma EN NP 50126 para sistemas ferroviários, mas de aplicação geral



A representação em “V” do Processo RAMS

Vida de um bem material

$\lambda(t)$ taxa de avaria

Fiabilidade
 $R(t)$
probabilidade
de bom
funcionamento

$\mu(t)$ taxa de reparação

Manutenibilidade
 $M(t)$
probabilidade de uma
duração de uma
reparação correcta

MTBF

Tempo médio de
bom funcionamento.

MTTR

Média dos tempos
técnicos de reparação.

DISPONIBILIDADE

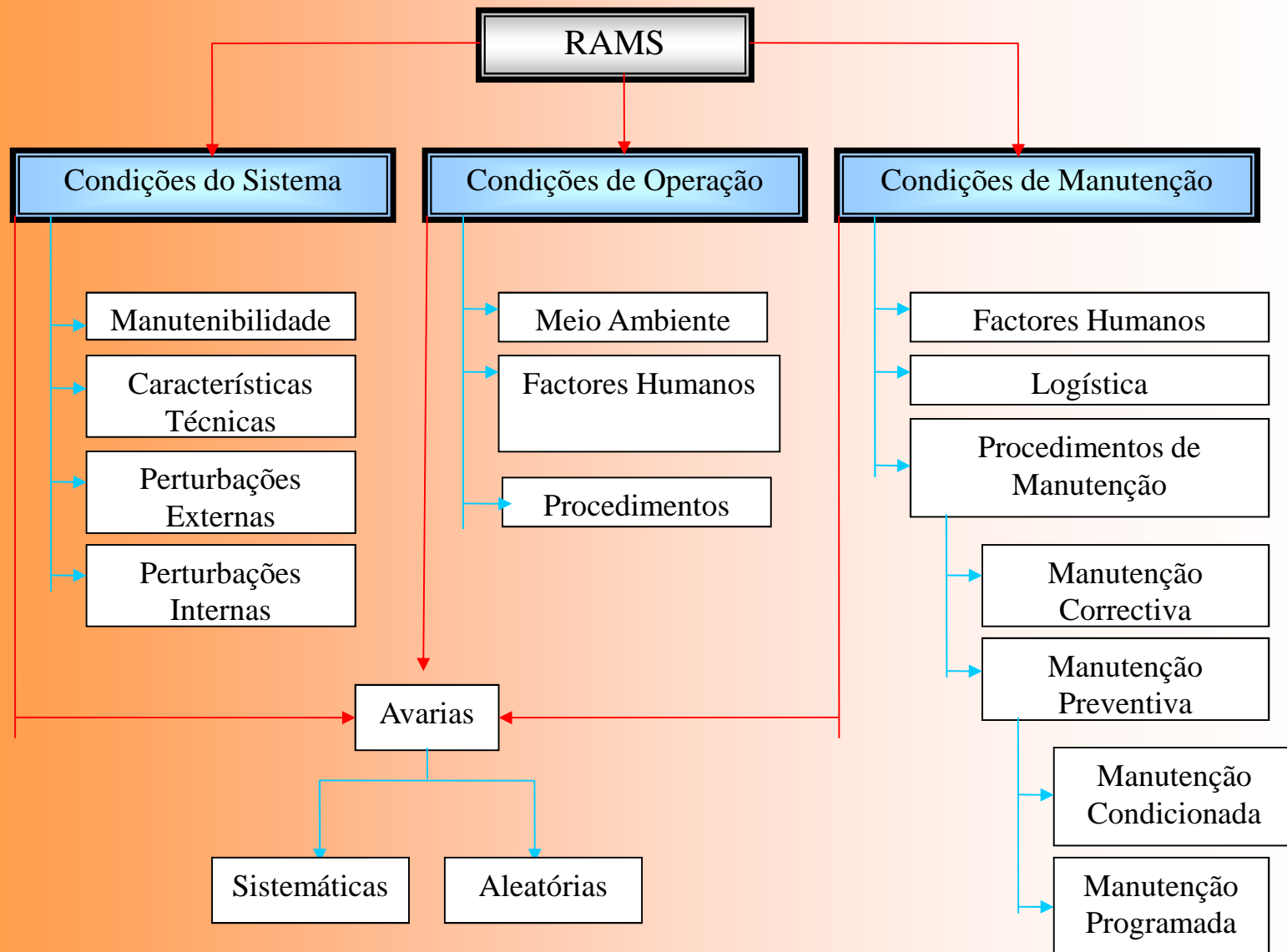
Probabilidade de
assegurar a função

$$D = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}}$$

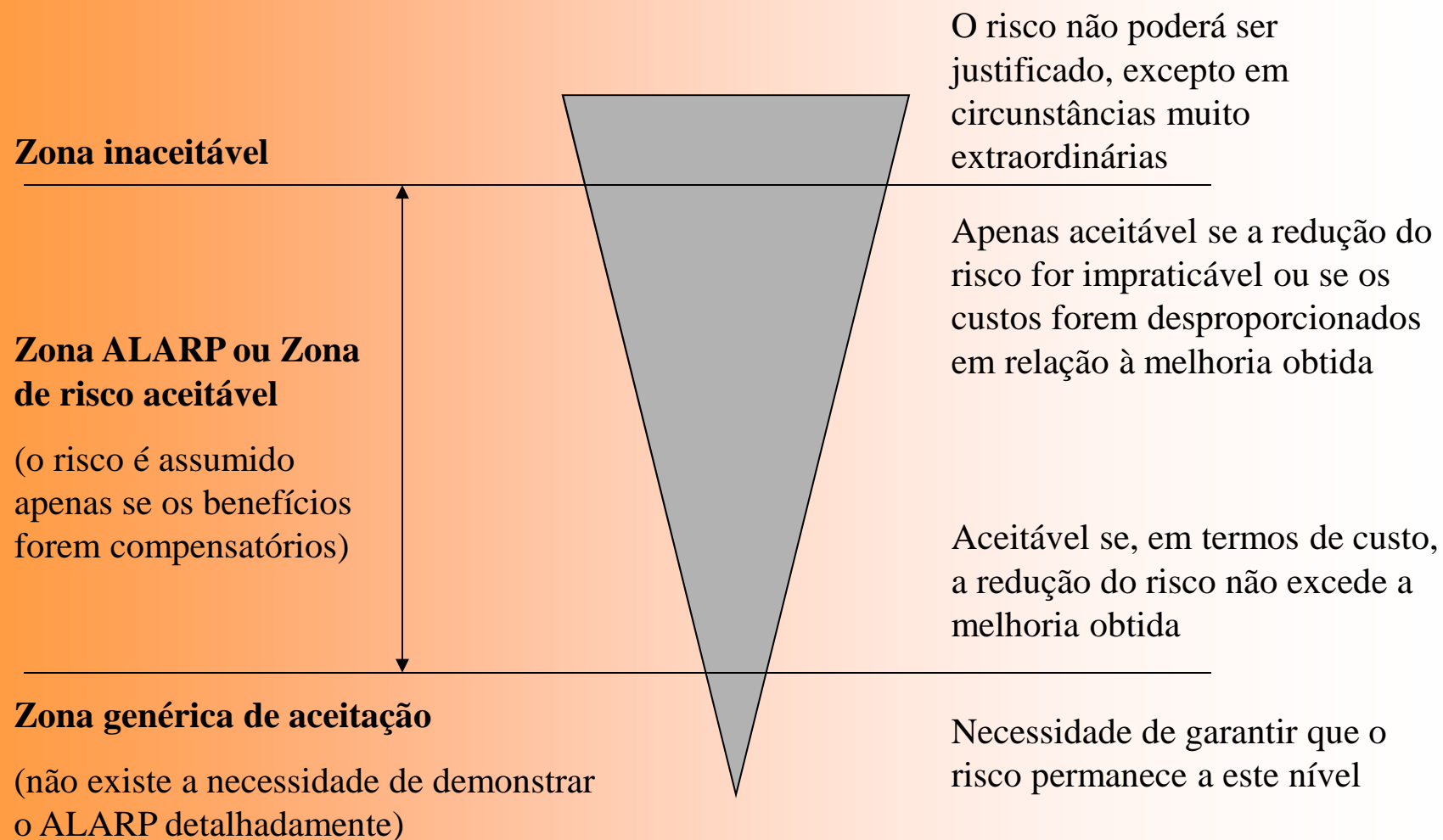
Critérios de aceitação de risco:

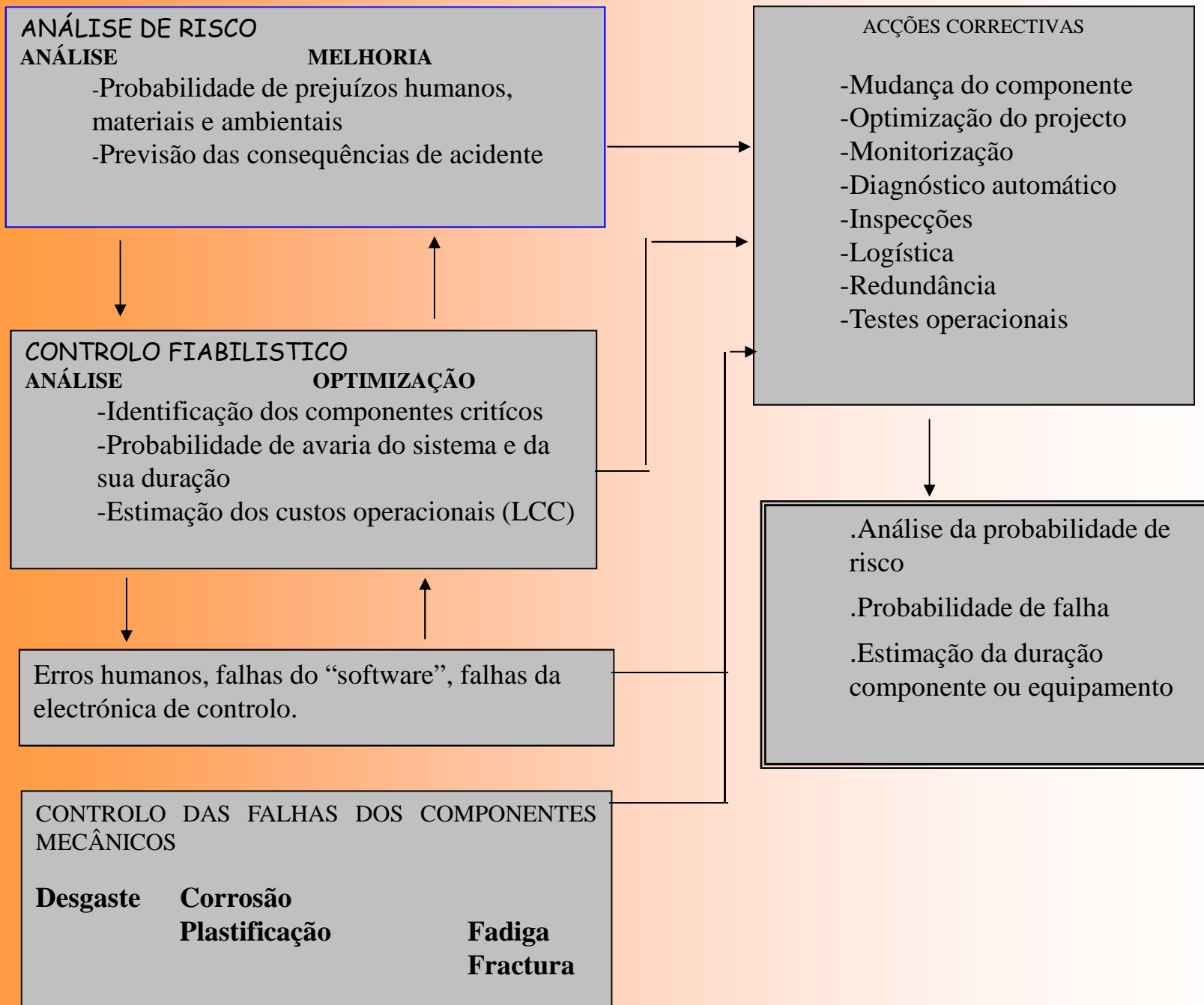
- Critério ALARP – “As Low As Reasonably Practible”
- Critério GAMAB – “Globalement Au Moins Aussi Bon”
- Critério MEM – Princípio da Mortalidade Endógena Mínima

Factores de Influência do RAMS:



Critérios de aceitação do risco (cont.):





A Função Manutenção e a Gestão do Risco:

Risco = Probabilidade X Consequência

A noção de responsabilidade de aceitação de riscos é cada vez mais importante:

a lei “Sarbanes-Oxley” nos USA

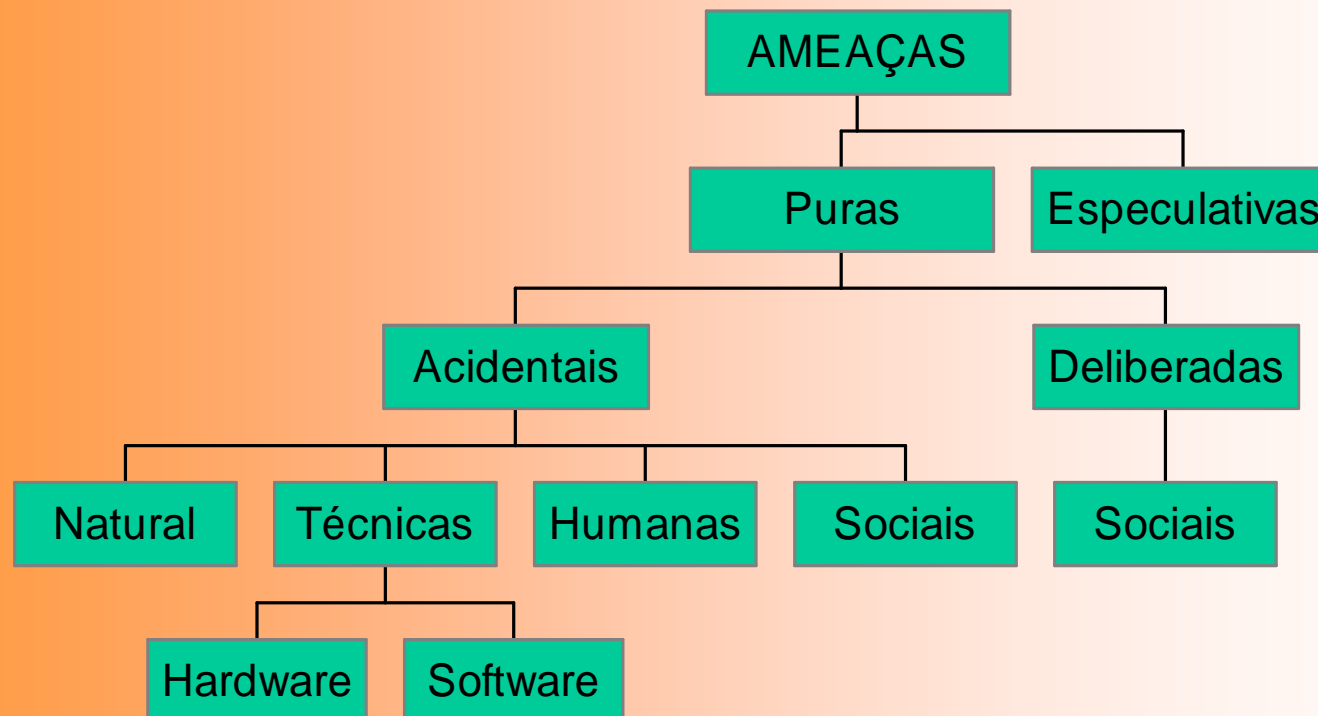
A Função Manutenção e a Gestão do Risco (cont):

Quanto mais “evoluída” é uma sociedade,
menos tolerante é com os riscos na comunidade

A Função Manutenção e a Gestão do Risco (cont):

Porque nos sentimos ameaçados?

Ameaças que dão origem a riscos

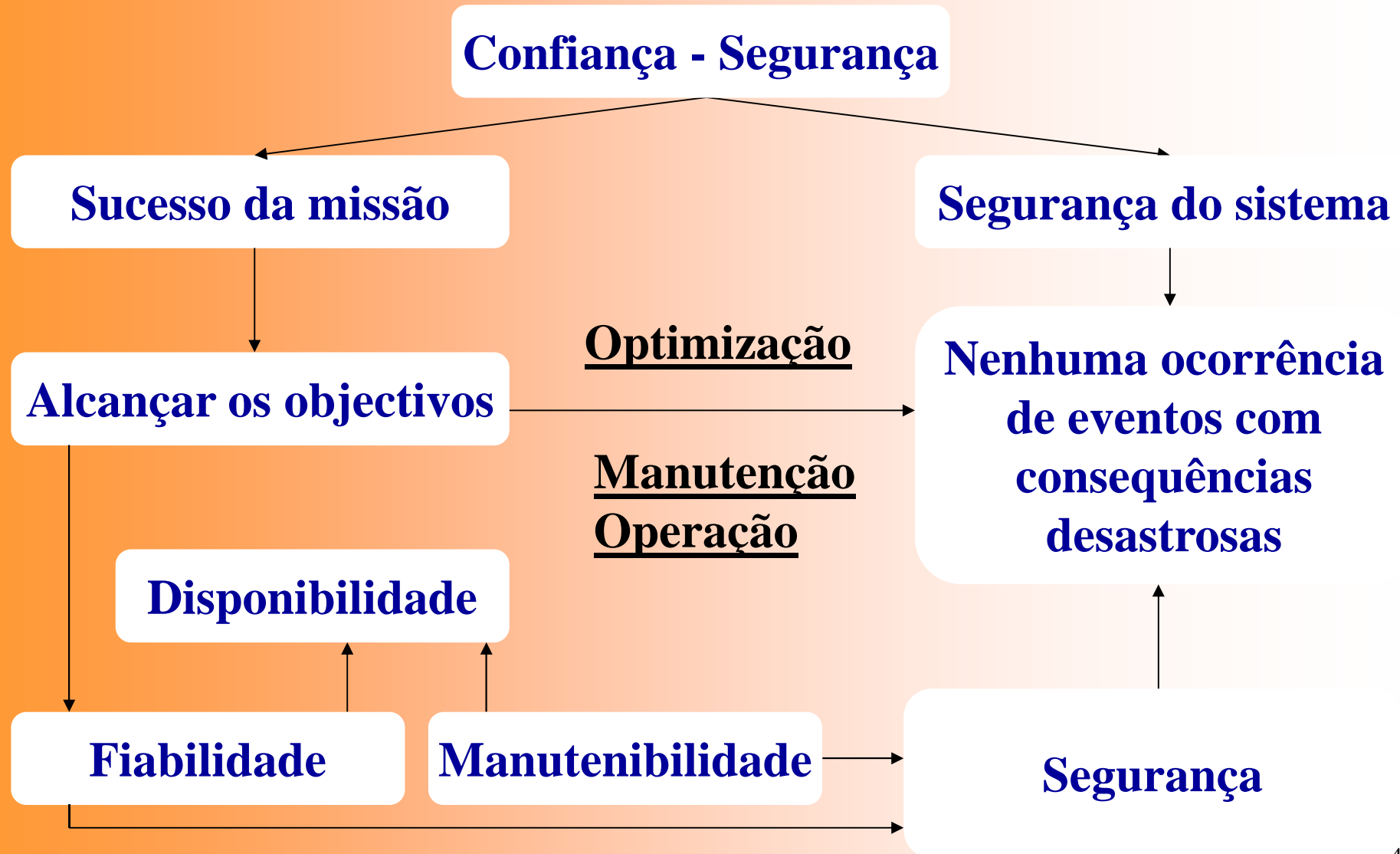


A Função Manutenção e a Gestão do Risco (cont.):

A avaliação quantitativa dos riscos envolve normalmente, quatro fases:

- A identificação das falhas potenciais de segurança
- A avaliação estimada das consequências de cada falha
- A avaliação estimada da probabilidade de ocorrência de cada falha
- A comparação dos resultados obtidos com os critérios de aceitação

Confiança vs Segurança



A Função Manutenção e a Gestão do Risco (cont.):

Só a utilização de **estratégias de manutenção bem definidas** e apoiadas numa logística correcta, é capaz de manter os níveis de risco dentro dos parâmetros considerados como aceitáveis ao longo do ciclo de operação dos equipamentos

CONCLUSÕES

- Para obter sistemas mais produtivos e seguros: *projectos mais eficazes para todo o ciclo de vida previsto*
- Para manter a competitividade dos sistemas: *manutenção dinâmica atendendo ao meio operacional, ao envelhecimento e/ou evolução desses sistemas*

Conclusões (cont.):

- A escolha das estratégias de manutenção, baseadas em tecnologias de informação de suporte às decisões, é da maior importância para que a **disponibilidade** e a **segurança** dos equipamentos seja mantida ao longo da sua vida operacional, **controlando os riscos potenciais** devido a desfuncionamentos desses equipamentos